

農林水産品の輸送に伴う環境負荷分析

吉川啓治¹・天野耕二²

¹立命館大学大学院理工学研究科（〒525-8577草津市野路東1-1-1）

²正会員 工博 立命館大学教授 理工学部環境システム工学科（〒525-8577草津市野路東1-1-1）

今後とも増加していくことが予想される運輸部門からのCO₂排出量を削減するために、無駄な輸送の削減や輸送効率の向上が重要とされている。本研究では、農林水産品を対象に、輸送距離を可能な限り短縮させるシナリオを設定した上で、農林水産品の輸送に伴うCO₂排出量の低減効果を検討した。輸送効率を向上させることにより、現状と比較して30～40%のCO₂排出量削減効果があることが確認できた。また、日本は農林水産品について輸入依存度が非常に高く、食料は約50%、木材は約80%という輸入依存率となっていることから、農林水産品の輸出入に伴うCO₂排出量を推計した。

Key Words : carbon dioxide emission, transportation, consumption of domestic products, import and export, agricultural, forestry and fishery products

1. はじめに

平成17年2月に発効した京都議定書では、地球温暖化の防止に向けた温室効果ガスの削減について第1約束期間（2008～2012年）に1990年比6%削減を日本に義務づけている。しかし、今日の日本経済の発展に伴いCO₂総排出量は増加をたどっている。運輸部門でのCO₂排出量は、乗用車の大型化や保有台数・走行距離の増加によって1990年代前半において大幅に伸び、2003年度の時点で1990年比19.8%増加の260百万t-CO₂となっている。運輸部門では2010年におけるCO₂排出量は、何の対策もなさなければ1990年度実績に対して大幅な伸びが予想されている。そこで運輸部門では、2010年におけるCO₂排出量を250百万t-CO₂に抑制するための対策を進めている¹⁾。現在では、車の使い方の見直しを含めた取り組みの重要性が指摘されており、CO₂排出の削減可能性が多方面から検討されている。わが国では、トラック輸送を他の輸送機関にシフトするというモーダルシフトやフード・マイレージの考え方による地産地消などがクローズアップされている。

既往の研究においては、経路選択の数理モデルを構築した上でのモーダルシフト効果²⁾、物流効率化によるCO₂削減効果³⁾など、モーダルシフトやネット輸送などエコ物流の報告がある。地産地消に関しては、地産地消に向けた新しい農産物流通システムの検討⁴⁾や、環境対策推進という視点からの地産地消による新たな可能性の検討⁵⁾などの報告がある。しかし、輸送と地産地消

の関連性を詳細に把握した研究はあまり行われていない状況にある。

本研究では、日本の運輸部門の中でも、農林水産品に着目し、農林水産品の輸送過程におけるCO₂排出量を地産地消促進によってどの程度削減できるかを分析する。また、日本は農林水産品について輸入依存度が非常に高く、食料の輸入率は約50%（トンベース）、木材の輸入率は約80%（m³ベース）となっている。そこで、輸出入での輸送過程におけるCO₂排出量を推計した上で、国内輸送過程におけるCO₂排出量と比較する。

2. 分析方法

本研究では、2000年に実施された第7回全国貨物順流動調査⁶⁾（以下、物流センサス）が適用している産業・品類・品目分類に基づいて定められた農林水産品（表-1）を対象として、推計を行った。評価範囲は輸送段階のみとし、輸送段階で発生するCO₂排出量を算出した。評価年は2000年とする。国内輸送においては、地産地消に伴うCO₂排出削減効果をシナリオ別に分析する。

(1) 国内輸送におけるCO₂排出量

a) 現状のCO₂排出量の推計

品目ごとの輸送段階におけるCO₂排出量は、式(1)のように定式化し、算出した。

表-1 農水産品と林産品の品目分類

品類	品目	内容例
農水産品	麦	大麦、裸麦、小麦、えん麦、らい麦、精麦
	米	もみ、玄米、精米、白米
	雑穀・豆	とうもろこし、落花生、あわ、そば、大豆、小麦、えんどう豆
	野菜・果物	甘しょ、馬鈴しょ、里いも、大根、玉ねぎ、キャベツ、きのこ、山菜、わさび、栗、みかん、りんご
	羊毛	
	その他の畜産品	牛、馬、豚、牛肉、豚肉、鶏肉、はち蜜、鶏卵、動物の骨、ひづめ、犬、猫、牛皮、原毛皮、未加工乳（注：牛乳等の乳製品、ハム、ソーセージ等の加工品は〔その他の食料工業品〕）
	水産品	魚介類（生鮮、冷凍、塩蔵、乾燥もの）、昆布、わかめ、のり、鰹貫魚、真珠、さんご（注：かまぼこ、ちくわ等のねり製品は〔その他の食料工業品〕）
	綿花	
その他の農産品	花き、亜麻、てん菜、茶、葉たばこ、種子、葉種、芝草、むしろ、コーヒー豆、さとうきび、こうぞ	
林産品	原木	製材用原木、パルプ用原木、足場丸太、電柱用材
	製材	板、角材、フローリング（注：合板は〔木製品〕）
	薪炭	薪、木炭、黒炭、加工炭、かいる灰、たどん
	樹脂類	天然ゴム、生松やに、生うるし、天然樹脂
	その他の林産品	木材チップ、竹材、苗木、果樹、樹皮

$$CO_2 \text{ 排出量} = \sum_{i=1}^{47} \sum_{j=1}^{47} \sum_k Q_{i,j,n,k} \cdot L_{i,j,k} \cdot C_k \quad (1)$$

表-2 貨物輸送機関別二酸化炭素排出原単位

(単位: g-CO₂/t・km)

		分類	CO ₂ 排出原単位	
鉄道	鉄道コンテナ	鉄道	21	
	車扱その他		21	
トラック	自家用トラック	自家用普通トラック	388	
	営業用トラック	宅配便等混載	営業用小型トラック	830
		一車貸切	営業用普通トラック	174
		トレーラー		174
	フェリー	内航船舶	38	
コンテナ船	38			
RORO船	38			
その他 船舶	38			
航空	航空	1,480		

ここで、

$Q_{i,j,n,k}$: 発都道府県 i から着都道府県 j までに輸送機関 k によって運ばれる品目 n の物流量 (ton)

$L_{i,j,k}$: 輸送機関 k の場合の発都道府県 i から着都道府県 j までの輸送距離 (Km)

C_k : 輸送機関 k の CO₂ 排出原単位 (g-CO₂/ton・Km)

まず、2000 年度における都道府県別・品目別の物質流動量を算定するために、1999 年度実績である物流センサスの年間調査値を 2000 年値に変換する必要がある。そこで、物流量は経済データに比例して増減すると仮定し、「平成 16 年版県民経済計算年報」⁷⁾を用いて、都道府県別に 2000 年度と 1999 年度の経済活動別県内総生産の金額比を算出し 2000 年値を推計した。

輸送距離帯別にみた代表輸送機関別シェアをみると、輸送距離が長距離化するほど海運のシェアは高まる傾向が見られたことから、本研究では、輸送機関分担率は各都道府県から輸送されている中で遠距離の都道府県から航空、海運、鉄道、トラックという順序で輸送していくこととした。ただし、トラック以外の輸送機関による輸送が行われていない都道府県間については、実際の輸送状況を考慮した。また、詳細な分類（例えば、鉄道における鉄道コンテナや車扱その他など）に基づいた輸送量は、各都道府県間で行われている総輸送量を物流センサスに掲載されている各々の重量比に基づいて各重量を割り振った物流量とした。

都道府県間距離は、トラック輸送、鉄道輸送、航空輸送では電子地図帳⁸⁾、海運輸送では距離表⁹⁾を用いて算定した。なお、内陸県および空港のない都道府県においては、海運・航空を代表輸送機関とする場合でも、近隣の港・空港からのトラック輸送を考慮している。

貨物輸送機関別 CO₂ 排出原単位¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾を(表-2)に示す。

b) 地産地消による輸送距離短縮を図るシナリオ

各都道府県間の発着量を変えずに地産地消による輸送距離の可能な限り短縮することによって CO₂ 排出量削減を図るシナリオを 3 つ設定した。

なお、例外として羊毛・綿花・薪炭・樹脂類の 4 品目は国内輸送が非常に少なく、地産地消する意義はないと判断し、この 4 品目は現状のままの輸送経路を適用した。地産地消シナリオでは、都道府県間距離が短い都道府県間の輸送が非常に多くなると考え、シナリオでの代表輸送機関は全てトラックとして推計を行った。

シナリオ 1

まず、物流センサスに基づいて、各都道府県での発量と着量に注目し、発量が着量より多い都道府県（以下、超過している都道府県）は着量分全てをその都道府県に全て投入し、発量から着量を差し引いた量は他の都道府県に投入することとする。逆に、着量が発量より多い都道府県（以下、不足している都道府県）は発量分全てをその都道府県に全て投入し、着量として不足している量は他都道府県から投入することとする。(表-3)

次に、他の都道府県への発送量を決定させる。ここでは、用いているデータの都道府県番号の順（北海道 青森 岩手 宮城 秋田・・・）にその都道府県は北に在ると仮定している。これは、都道府県番号の順は基本的に北から南の順に通し番号となっているためである。

表-3 各都道府県内の発着量の決定

例) 国内物流量の表の流動量のデータを用いた場合

発着都道府県	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	...	合計	発着量
北海道	1,084,210							1,163,022	78,813
青森		19,569						19,569	-2,354
岩手			91,291					227,739	136,448
宮城				295,214				295,214	-210,615
秋田								0	0
山形						13,632		13,632	-43,830
...							
合計	1,084,210	21,923	91,291	505,829		57,462	...		

表-4 各都道府県の発着量の決定 (シナリオ1)

例) 国内物流量の表の流動量のデータを用いた場合

着	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	...	合計	着量
北海道	1,084,210	2,354		76,489				1,163,022	78,813
青森		19,569						19,569	-2,354
岩手			91,291	134,156	2,291			227,739	136,448
宮城				295,214				295,214	-210,615
秋田								0	0
山形						13,632		13,632	-43,830
福島								37,177	-36,916
茨城								37,177	-91,557
栃木						41,538		213,023	67,134
...							
合計	1,084,210	21,923	91,291	505,829		57,462	...		

表-5 各都道府県の発着量の決定 (シナリオ2)

例) 国内物流量の表の流動量のデータを用いた場合

着	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	...	合計	着量
北海道	1,084,210			76,521		2,291		1,163,022	78,813
青森		19,569						19,569	-2,354
岩手		2,354	91,291	134,094				227,739	136,448
宮城				295,214				295,214	-210,615
秋田								0	0
山形						13,632		13,632	-43,830
福島								37,177	-36,916
茨城								37,177	-91,557
栃木						41,538		213,023	67,134
...							
合計	1,084,210	21,923	91,291	505,829		57,462	...		

そこで、超過している都道府県の中でも北に在る都道府県から、不足している都道府県の中でも北に在る都道府県へ順々と輸送していくものとする。(表-4)

シナリオ2

シナリオ2においても、まず、各都道府県内の発着量を決定させる。これはシナリオ1と同じ方法で行う。次に、全国47都道府県を8地方(北海道、東北地方、関東地方、中部地方、近畿地方、中国地方、四国地方、九州地方)に分割する。シナリオ1では全国を一単位にして、超過している都道府県の中でも北に在る都道府県から不足している都道府県の中でも北に在る都道府県へ

順々と輸送していくものとしたが、シナリオ2ではその輸送過程を分割した各々の8地方内で始めに行った。

さらに、8地方内発着量を決定させた後でも超過している都道府県や不足している都道府県があれば、シナリオ1で行ったように全国で輸送を一単位にして、超過している都道府県の中でも北に在る都道府県から不足している都道府県の中でも北に在る都道府県へ順々と輸送していくようにする。(表-5)

シナリオ3

シナリオ3では、以下のような線形計画モデルを定式化し、CO2排出削減可能性を推計した。以下の式では、各品目ごとの各都道府県の発着量と着量を変化させずに、都道府県間の輸送量を変化させ、CO2排出量を最小化している

$$CO_2 \text{ 排出量} = \min \sum_{i=1}^{47} \sum_{j=1}^{47} x_{i,j,n} \cdot c_{i,j} \quad (2)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^{47} x_{i,j,n} = a_{j,n} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{47} x_{i,j,n} = b_{i,n} \quad (4)$$

$$x_{i,j,n} \geq 0 \quad (5)$$

ここで、

$x_{i,j,n}$: 発都道府県 i から着都道府県 j までに運ばれる品目 n の物流量 (ton)

$c_{i,j}$: 発都道府県 i から着都道府県 j までの輸送1t当たりのCO2排出量 (g-CO2/ton)

$a_{j,n}$: 着都道府県 j までに運ばれる品目 n の合計貨物到着量 (ton)

$b_{i,n}$: 発都道府県 i から運ばれる品目 n の合計貨物発着量 (ton)

(2) 輸出入におけるCO2排出量

本研究では、輸出入における陸輸送は考慮せず、港湾から港湾までの海運輸送過程で発生するCO2排出量を式(6)のように定式化し、算出した。

$$CO_2 \text{ 排出量} = \sum_i Q_{i,n} \cdot L_i \cdot C \quad (6)$$

ここで、

$Q_{i,n}$: 海外国 i から日本まで運ばれる品目 n の物流量 (ton)

L_i : 海外国 i から日本までの輸送距離 (Km)

C : 海運輸送におけるCO2排出原単位 (g-CO2/ton·Km)

まず、仕出仕向国別・品目別の物質流動量を、港湾統計¹³⁾から引用した。

輸出入相手国から日本までの距離は、距離表⁹⁾から以下の点を考慮した上で算出した。

輸出入相手国の主要港が複数ある場合は、各港からの距離の平均値をその国との距離とする。ただし、アメリカは日本からの距離が4000海里未満の港は除外した上で平均値を適用する。

距離表に記載されていない輸出入相手国との距離は、距離表に記載されている中で最も近隣の港との距離を適用する。

海運輸送におけるCO₂排出原単位¹⁴⁾は、20.7 g-CO₂/t・kmを適用した。

3. 推計結果

(1) 国内輸送における分析結果

a) 現状の分析結果

国内の道府県間輸送量の分析結果を、代表輸送機関別（重量ベース）に図-1に示す。2000年における国内の農林水産品輸送量は192百万tであり、そのうち95.2%をトラックで輸送している。このことから、農林水産品ではその大部分がトラックによって輸送されていることが分かる。道路網が完備しており、小回りが利いてどこでも輸送ができる『ドア・ツー・ドア（戸口から戸口まで）』というメリットにより、輸送にはトラックが多く使われていると考えられる。鉄道、海運、航空輸送には、輸送機関の変更時に行われる積み替えによる時間のロスという大きな欠点がある。海運輸送の4.1%の中でも、その約半分が雑穀・豆類で占められていた。

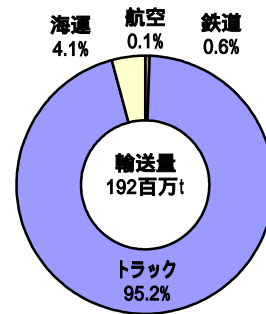


図-1 農林水産品部門での貨物輸送の現状
（重量ベース）
フェリー輸送はトラックに分類し、
海運輸送に含めていない

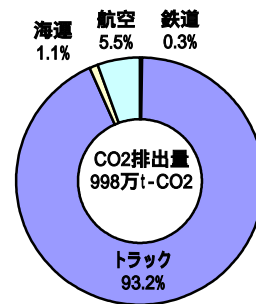


図-2 農林水産品部門での貨物輸送の現状
（CO₂排出量ベース）

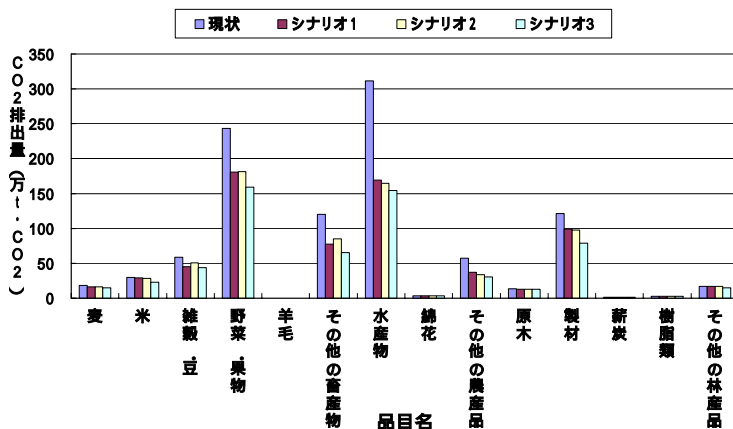


図-3 品目別CO₂排出量

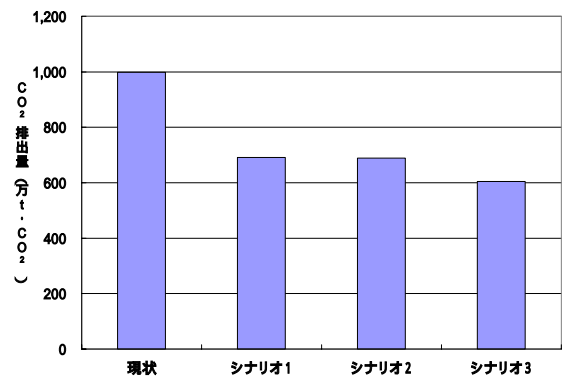


図-4 農林水産品部門CO₂排出量

これには、雑穀・豆類が比較的腐りにくいという点から、輸送時間は長いコストが安いというメリットにより、海運での輸送が活用されていると考えられる。林産品に関しては、トラック以外の輸送手段では全く輸送されていないことがわかった。林産品は、物品として非常に大きく、重量も大きいため、特に積み替えに適していないことから、トラック以外の輸送機関が使われていないと考えられる。

次に、代表輸送機関別の CO₂ 排出量を図-2 に示す。航空輸送を見ると、重量ベースの図-1 と比べ、大幅な割合上昇が見られる。これは、航空輸送は排出量原単位が他の輸送機関に比べ非常に高いことを示している。また、全体で見ると、農林水産品の国内輸送における CO₂ 排出量は 998 万 t - CO₂ となった。2003 年度における運輸部門での CO₂ 排出量である 260 百万 t と比較すると、農林水産品の国内輸送は運輸部門全体の約 4% 占めることが分かる。

b) 現状と地産地消シナリオのCO₂排出量の比較

2(1)の推計により得られた農林水産品の貨物輸送による現状と地産地消シナリオでの CO₂ 排出量の比較結果を図-3、図-4 に示す。この結果から、野菜・果物、水産品部門での大幅な CO₂ 削減効果が見込まれた。野菜・果物、水産物は他の品目と比較すると輸送量が多く、また各都道府県から多くの都道府県への輸送が多いため、本研究で行った地産地消効果が大きく表われた。全体での CO₂ 排出量を比較すると、シナリオ 1・シナリオ 2 とともに現状に比べ約 3 割の削減効果が見られ、シナリオ 3 では約 4 割の削減効果が見られた。このことから、環境負荷低減のためには農林水産品だけでなく他の品類に関してさらなる地産地消を考えていく必要があると考えられる。

図-4 から、地産地消シナリオでの輸送が行われれば CO₂ 総排出量が約 300~400 万トン削減できることがわかる。2003 年度における我が国の CO₂ 総排出量が 12 億 5900 万トンであることから、地産地消により約 0.2% が削減できることになる。2010 年までに運輸部門においての CO₂ 排出量削減量の目標値は 1000 万トンであるため、様々な CO₂ 排出量削減対策が挙げられている中、300~400 万トンの削減は非常に大きな意義を持っている。

(2) 輸出入の輸送過程における分析結果

農林水産品の輸出入に伴う CO₂ 排出量は、表-6 に示すように、輸出過程では 48 万 t - CO₂、輸入過程では 2393 万 t - CO₂ という結果になった。特に、輸入過程で発生する CO₂ 排出量は非常に大きい数値となり、国内輸送過程で発生する CO₂ 排出量の 2.5 倍になった。

表-6 農林水産品の輸出入に伴う CO₂ 排出量

(単位: 万 t - CO ₂)			
	国内	輸出	輸入
CO ₂ 排出量	998	48	2393

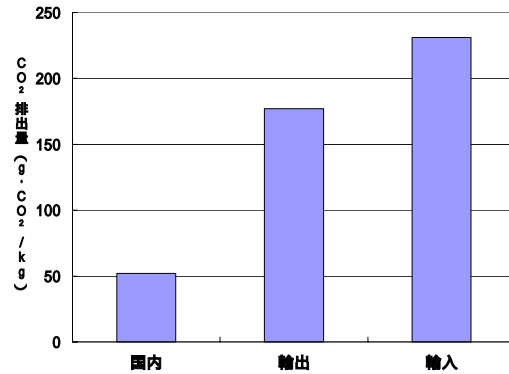


図-5 1kg 輸送当たりの CO₂ 排出量

また、農林水産品の輸送 1kg あたりに伴う CO₂ 排出量は、国内輸送過程では 52g - CO₂、輸出過程では 177g - CO₂、輸入過程では 231g - CO₂ と、国内輸送に比べてはるかに大きい結果となった(図-5)。輸出入輸送はエネルギー効率が高い海運が中心であるが、国内輸送に比べ輸送距離がはるかに長いことによる結果となった。しかし、この輸出入による CO₂ 排出量の値には前述の通り陸輸送は含まれていないため、実際はこれよりも差は大きくなると考えられる。輸出過程と輸入過程でも、1kg あたりの輸送に伴う CO₂ 排出量は 54g - CO₂ の差が見られる。わが国では、農林水産品について輸入依存度が非常に高く、遠くの様々な国から輸入していることが分かる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、農林水産品について、物流センサ等の統計資料に基づいて品目別に輸送による CO₂ 排出量を推計した上で、地産地消シナリオ作成し輸送距離の短縮による環境負荷低減を検討した。また、農林水産品の輸送に関して国内輸送と輸出入輸送を比較し、環境負荷の比較を行った。

その結果、次の点が明らかとなった。

2000 年における農林水産品の輸送に伴う CO₂ 排出量は全体で 998 万 t - CO₂ であり、そのうちトラック輸送が 93% を占める。

品目別では、野菜・果物、水産物が農林水産品の中では輸送に伴う CO₂ 排出量が多い。

地産地消を行うことで300～400万t- CO₂の削減効果が見込まれた。この数値は、我が国の運輸部門が目標とする削減量の3～4割となっており、地産地消による環境負荷低減に大きな期待ができる。

輸出入による輸送CO₂排出量は非常に大きく、陸輸送を除いても国内輸送の約3～5倍となった。

本研究では、地産地消を行う上で、輸送手段は全てトラックとしているため、他の輸送手段への転換、モーダルシフト等を考慮すれば、さらなるCO₂排出削減効果が見込まれる。今後は地産地消に加え、モーダルシフトによる環境負荷低減効果も検討する必要がある。また、本研究では、農林水産品を14品目に分類して検討を行ったが、さらに細かく品目分類を行った上で、より正確な推計を行うことが課題として挙げられる。

さらに、本研究では、輸出入輸送は環境負荷に関する現状分析に留まっているが、世界全体での輸送の効率化を考慮して環境負荷の削減効果について検討していく必要がある。

謝辞

本研究の一部は平成17年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C))の交付を受けておこなわれたことを記し、謝意を表します。また、基本統計データの収集に際して詳細なヒアリング調査および資料閲覧に際してご協力頂いた関連各種協会団体の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国立環境研究所地球環境研究センター資料
- 2) 松尾俊彦：わが国にトラック輸送経路選択モデルとモーダルシフト政策，日本航海学会論文集，No.104，Page21-29，2001。
- 3) 紀伊雅敦，広田恵子，湊清之：物流効率化によるCO₂削減効果，自動車研究，Vol.27No.2，Page.61-64，2005。
- 4) 岡本純子，野口宏：「地産地消」にむけた農産物IT流通の現状，情報研究，No.19，p11-32，2003。
- 5) 佐々木輝雄：地産地消の急展開と環境対策への可能性，日本獣医畜産大学研究報告，No.51，p11-23，2002。
- 6) 国土交通省，第7回全国貨物純流動調査：
<http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/oensus/oensus.html>
- 7) 内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部編：国民経済計算表，平成16年版，2004。
- 8) 地図ソフト：ゼンリン電子地図帳Z Professional。
- 9) 海上保安庁：距離表，2003。
- 10) 国土交通省：国土交通白書，平成15年度版，2003。
- 11) 国土交通省：法令等一覧。
- 12) 社会法人，全日本トラック協会ホームページ：
<http://www.jta.or.jp/>
- 13) 港湾統計：流動表，2004。
- 14) 財団法人シップ・アンド・オーシャン財団：平成12年度船舶からの温室効果ガス(CO₂等)の排出量削減に関する調査研究報告書，平成13年6月，2001。

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LOAD RESULTING FROM TRANSPORTATION OF AGRICULTURAL, FORESTRY AND FISHERY PRODUCTS

Keiji YOSHIKAWA and Koji AMANO

In order to reduce CO₂ emissions from the transportation sector, which are expected to continue to increase in the future, it is important to eliminate wasteful uses of transportation and improve transportation efficiency. In this study, the potential for reductions in CO₂ emissions resulting from the transportation of agricultural, forestry and fishery products was reviewed after setting up a scenario for shortening the distance traveled wherever possible. As a result, it was confirmed that improvements in transportation efficiency can reduce CO₂ emissions by 30-40% of the current level of emissions. Furthermore, this study estimated the amount of CO₂ emissions that results from importing and exporting agricultural, forestry and fishery products, in view of the fact that Japan is highly dependent on foreign countries for agricultural, forestry and fishery products, and approximately 50% of food and 80% of timber are imported from overseas.